

*Хорольський В. П., д-р техн. наук, професор¹**Никифоров Р. П., канд. техн. наук, доцент¹**Коренець Ю. М., старший викладач¹**Орел А. С., здобувач ОС бакалавр¹*

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ХОЛОДИЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ СУПЕРМАРКЕТУ

UDC 981.5:(621.565.92:339.372.5)(045)

*Khorolskiy V. P., Grand PhD of Engineering Science,
Professor**Nykyforov R. P., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor**Korenets Yu. M., Senior Lecturer**Orel A. S., A graduate of a bachelor's degree*

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua.

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS SUPERMARKET REFRIGERATION EQUIPMENT

Мета. Метою роботи є розробка концептуальної моделі автоматизованої системи управління холодильним обладнанням супермаркету з вбудованими робототехнічними комплексами для забезпечення населення територій з вираженням техногенним навантаженням високоякісними продуктами харчування в режимі реального часу.

Методи. У статті застосовано експертні методи досліджень у комплексі з методами імітаційного моделювання. Поставлені в статті задачі теоретичного, методологічного і практичного характеру, пов'язані зі створенням багаторівневих комплексів автоматизованого управління процесами холодозабезпечення супермаркетів, вирішені з використанням системного підходу, а саме, загальних принципів теорії систем, теорії нейронних систем, елементів теорії систем нечіткого керування, елементів теорії штучного інтелекту, методологічних основ проектування автоматизованих систем підтримки і прийняття рішень, основних положень теорії систем автоматизованого управління, в тому числі в сфері торгівлі і продовольчого забезпечення населення.

Результати. Запропоновано автоматизовану систему управління холодильним обладнанням супермаркету з трирівневою оцінкою її роботи: верхнього рівня з сучасними інтелектуальними системами, промисловим Інтернет-речей, SCADA ERP-системами з визначенням цілей управління та визначенням змінних, бази даних, бази знань, оцінки інформаційного і програмного забезпечення, методів проектування ситуаційних кімнат; середнього операційного рівня MES-систем і проектування робототехнологічних комплексів холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркету та роботи типу TX SCARA, які поповнюють товари на полицях і відстежують їх наявність; нижнього рівня керування технологічними процесами з вибором конфігурації регуляторів адаптивних систем та виконавчих механізмів.

Визначено переваги нечітких способів керування, що відносяться до категорії ІСУ холодопостачанням, які полягають в можливості реалізації будь-якого нелінійного алгоритму керування, необхідного для забезпечення процесу в умовах наявності хоча б приблизного або неповного опису об'єкту керування за умов обмежених обчислювальних потужностей.

Визначено напрямки подальших досліджень, що будуть спрямовані на конкретизацію розробленої концепції, впровадження та перевірку в реальних умовах проекту автоматизованої системи управління технологічними процесами холодильного обладнання супермаркету.

Надійшла до редакції 15.10.2022

© В. П. Хорольський, Р. П. Никифоров,
Ю. М. Коренець, А. С. Орел, 2022

Ключові слова: супермаркет, холодильне обладнання, автоматизована система управління, нечітка система керування, нечітка логіка, робототехнічний комплекс

Постановка проблеми. Важливим питанням логістики охолодженої та замороженої продукції є її зберігання та реалізація в супермаркетах. Головними завданнями при цьому можуть бути визначені [1]:

- забезпечення якості та безпеки продукції за рахунок її моніторингу та контролю в реальному масштабі часу;
- зручність і ефективність виробництва та зберігання охолоджених і заморожених продуктів харчування;
- ефективний захист продукції від псування під час транспортування і зберігання;
- використання технологій енергозберігання;
- мінімізація шкідливого впливу на довкілля за рахунок запобігання викидам в атмосферу CO₂ і холодоагентів, що можуть впливати на озоновий прошарок Землі.

Для реалізації комплексного підходу до виконання всіх визначених задач доцільно розробити проєкт автоматизованої системи управління холодильним обладнанням (АСУ-ХО) супермаркету з вбудованими робототехнічними комплексами (РТК).

При цьому для кожної групи продуктів харчування, що потребують охолодження та/або заморожування, необхідно розробити особливу конструкцію роботів: робототехнічних інтенсифікаторів та контролерів.

Важливим елементом проєкту стане система комп'ютерного моніторингу технологічного обладнання супермаркету з підсистемами розпізнавання аварій та аварійних ситуацій [2].

При цьому найбільш прогресивним варіантом реалізації адаптивних систем безпечної експлуатації холодильних установок буде побудова нечітких систем керування (НСК) на базі нечіткої логіки [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При проєктуванні робототехнічних комплексів супермаркетів широкого застосування у вітчизняній й закордонній практиці сьогодні набули роботи японського виробництва TX SCARA [4], які керуються за допомогою штучного інтелекту (ШІ). Вони відстежують наявність товару на полицях і здатні поповнювати запас товарів в режимі реального часу. З автоматизованих робочих місць (АРМ) супермаркету до таких роботів можна підключитись дистанційно через гарнітуру віртуальної реальності. Роботи TX SCARA використовують хмарний сервіс Microsoft та ШІ-платформу Nvidia Isaac [5]. Як показали експертні дослідження, японські роботи TX SCARA можуть замінити людину у 98% випадків — вони самостійно розвантажують контейнери зі замороженими продуктами та розкладають їх по полицях [4]. Важливими операціями робота в супермаркеті є: оцінка вартості кошика з покупками; перекладання товарів в пакет.

У той же час важливим елементом проєктування такого супермаркету є використання робототехнічних комплексів в системах контролю і керування холодопостачанням холодильних камер, холодильних вітрин за допомогою компресорних установок холодильних машин високої продуктивності [6, 7, 8].

Реалізація таких умов можлива за допомогою холодильних вітрин у дизайні DIAGONAL, що передбачає їх оснащення енергозберігаючими дверима Remis (Німеччина) і стабілізаторами повітряного потоку [9, 10].

Для заморожених продуктів в таких системах можуть встановлюватись комбіновані пристінні вітрини Nautilus Gombi з двома автономними об'ємами для демонстрації продуктів.

Важливим елементом РТК в супермаркетах можуть бути технологічні апарати для доведення заморожених напівфабрикатів (наприклад, хлібобулочних виробів типу бекерай) до стану кулінарної готовності та їх пакування.

Таким чином, одним із можливих проєктних рішень в процесі вибору холодильного обладнання супермаркету може бути використання енергоефективних холодильних камер і повітроохолоджувачів Guntner (Німеччина), мультикомпресорних установок на

компресорах Bitzer (Німеччина), системи утилізації тепла конденсації, повітряного конденсатора Guntner (Німеччина) [11].

У процесі підготовки проекту побудови АСУХО супермаркету доцільно враховувати такі критерії якості її функціонування [1]:

1. Величину приведених затрат:

$$\Phi_1 = C + E_n \cdot K + m_n \cdot P \rightarrow \min, \quad (1)$$

де C — собівартість функціонування АСУТП підприємств з РТК; E_n — нормативний коефіцієнт економічної ефективності; K — капітальні затрати на створення АСУХОС; m_n — норматив ефективності трудових ресурсів; P — кількість персоналу АСУХОС.

Якщо C_1 і C_2 , K_1 і K_2 — собівартість і затрати різних варіантів щодо реалізації АСУТП, то річний економічний ефект можна визначити за формулою:

$$\Phi_1 = C_2 - C_1 + E_n(K_2 - K_1) + m_n(P_2 - P_1). \quad (2)$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$\Phi_2 = P/K \rightarrow \max, \quad (3)$$

де P — прибуток від упровадження АСУТП.

Термін окупності капітальних вкладень:

$$\Phi_3 = K/P \rightarrow \min. \quad (4)$$

Критерії якості локальних функцій АСУТП:

1. $CO_2 \rightarrow \min$, при заданих значеннях надійності і довговічності холодильного устаткування та технологічного обладнання.

2. $E_{енерг} \rightarrow \max$, при заданих значеннях енергоефективності холодильного устаткування та технологічного обладнання.

3. $Q_{ном} \rightarrow Q_{опт}$.

У процесі проектування архітектури АСУТП супермаркету також потрібно провести:

1) аналіз функціональної схеми апаратно-програмного комплексу АСУТП супермаркету;

2) дослідження впливу збурення на систему виробничого, логістичного, торговельного процесів та визначення технологічних параметрів контролю

3) оцінку параметрів керування холодопродуктивністю холодильних машин, холодильного обладнання, визначення датчиків та систем контролю якості замороженої та охолодженої продукції;

4) аналіз пристроїв спряження нижнього, середнього та верхнього рівнів керування, оцінку потужність MES-системи, мікропроцесорів верхнього, середнього і локальних систем нечіткого керування компресорними установками, конденсаторами тощо;

5) аналіз бази даних, бази знань, бази моделей інтелектуальної системи керування процесами, визначення основних способів уявлення знань про процеси охолодження та заморожування продукції, оцінку інформативності опису технологічних процесів щодо розпізнавання аварійних ситуацій та аварій;

6) синтез задач моніторингу параметрів якості продукції та параметрів CO_2 ;

7) аналіз моделі, що описує задану цільову траєкторію управління холодильним обладнанням супермаркету в просторі станів.

Інформаційне забезпечення РТК в основній його частині складається з [1]:

1) інформаційної структури РТК, яку виконано у вигляді таблиць ТА/АБО графа;

2) організації бази даних (БД) і бази знань (БЗ), а саме визначенні структури і способу доступу до даних і знань;

3) відомостей сигналів і кодів щодо взаємодії з оператором РТК і зовнішніми системами;

4) відомостей форм документів ТА/АБО, відеограм і макетів форм, які виведені для персоналу на пристрої друку або інформаційні дисплеї;

5) форматів даних і інструкцій щодо режиму обміну для кожного зовнішнього інтерфейсу;

6) вимог до мов програмування та редагування програм різного призначення і, в першу чергу, до мов спілкування персоналу з пристроями цифрового управління (ПФУ) РТК;

7) системи класифікації і кодування даних.

Етап постановки задач математичного забезпечення АСУТП супермаркету пов'язаний з математичним описом фізичних процесів охолодження або заморожування продуктів харчування; транспортування охолоджених/заморожених продуктів харчування в холодильних апаратах різного призначення; моделювання процесів холодопостачання; оцінки параметрів холодопродуктивності технологічної ланки холодильного обладнання супермаркету; траєкторій руху матеріальних вхідних і вихідних потоків сировини, градієнтів, напівфабрикатів і готових продуктів щодо оцінки їх якості в масштабі реального часу.

Алгоритмічне забезпечення АСУТП підприємства включає алгоритми керування технологічними процесами виробництва, транспортування, зберігання охолоджених і заморожених продуктів, холодопостачання холодильного обладнання; алгоритми захисту технологічного обладнання від аварійних режимів роботи холодильного обладнання та аварій; алгоритми оцінки якості продукції, енергоефективності, мінімізації впливу параметрів CO₂ на навколишнє середовище тощо.

До складу основних функціональних блоків АСУТП супермаркету віднесемо: програмне забезпечення, алгоритми адаптивного та нечіткого керування, MES-системи оперативного керування, ERP-систем верхнього рівня управління, Промисловий Інтернет-речей, нейромережеві системи моніторингу CO₂, різні види діагностики технологічного обладнання, ІПВ — інтелектуальні пристрої вимірювання якості продукції, АРМ-оператора(ів).

Верхній рівень з МІКРО-ЕОМ буде представлено ЦІУ — центром інтелектуального управління. У якості мікропроцесорів в РТК пропонуємо використовувати контролери SIMATIC S7 з інтелектуальними модулями введення/виведення. Ці модулі забезпечені вбудованими мікропроцесорами і можуть автономно виконувати критичні за часом виконання завдання, підтримуючи зв'язок з процесором за допомогою власних вводів-виходів. Використання інтелектуальних модулів дозволить суттєво розвантажити центральний процесор, використовуючи його обчислювальні можливості для рішення оптимізації параметрів продуктивності технологічного обладнання, мінімізації викидів CO₂ в атмосферу тощо.

У багаторівневій АСУТП супермаркету з вбудованими РТК доцільно виокремити декілька підсистем з особливими вимогами щодо швидкодії та надійності. До таких підсистем віднесемо, наприклад, такі процеси: діагностику стану холодильного обладнання та ліній виробництва замороженої продукції; реалізацію задач і функцій оперативного планування і керування процесами заморожування, енергопостачання, водопостачання, реєстрації аварійних ситуацій тощо.

У процесі схематичного синтезу проєкту АСУТП супермаркету необхідне визначення потужності центрального мікропроцесора SIMATIC S7, ERP- та MES-систем верхнього й оперативного рівнів та його інтерфейсу з іншими мікропроцесорами. При цьому слід враховувати, що загальною умовою функціонування мікропроцесорів є виконання функцій оброблення, збереження, обміну і управління цими процесами над трьома видами інформації: даними, командами та адресами.

Оброблення інформації можна представити рядом функцій: логічною, арифметичною і спеціальною (підсилення, перетворення кодів, шифрування-дешифрування тощо) Функція обміну виконує обмін інформацією як всередині процесора, так і з зовнішніми пристроями. Функцію збереження можна представити у вигляді сукупності функцій оперативного або надоперативного збереження вхідної, проміжної та кінцевої інформації, а також функцією тривалого збереження з можливістю оновлення інформації.

Під інформаційними інтерфейсами будемо розуміти сукупність програмно-апаратних засобів, що забезпечують взаємодію процесорів з функціональними блоками при-

строїв керування, іншими процесорами або із зовнішніми пристроями. До інформаційних інтерфейсів відносять пристрої введення/виведення, які забезпечують зв'язок з людиною-оператором. З метою зменшення вартості проекту АСУТП супермаркету бажано максимально уніфікувати інтерфейси за усіма видами забезпечення: інформаційному, програмному, апаратному. Будемо розділяти інтерфейси на аналогові та цифрові. Аналогові інтерфейси проектують як електричні чотириполюсники. Цифрові інтерфейси поділяють на паралельні і послідовні. Уявлення цифрових даних, кожному біту яких виділена окрема лінія шини, називають паралельним подвійним числовим кодом (ПЧК). Передачу цього коду виконують одночасно на всіх визначених лініях.

У супермаркетах з метою використання ІоТ пропонуємо використовувати послідовні інтерфейси, які здатні вирішувати задачі, як зовнішні по відношенню до пристрою зв'язку (Ethernet), а саме інтерфейс RS-485.

Процес моделювання РТК розпочинається з організації системних досліджень моделей технологічних процесів заморожування і охолодження продуктів у холодильних камерах, холодильних вітринах, прилавках-вітринах тощо та оцінки інтелектуалізації технологічних процесів на собівартості продуктів харчування. Виокремлюються інформаційні змінні, що визначають технологічні процеси заморожування, холодопродуктивність, режими роботи холодильних машин, енергоефективність холодильного обладнання. Потім будуються математичні моделі залежності заморожування від термодинамічних, теплофізичних, фізико-хімічних та фізіологічних властивостей холодоагентів.

Шляхом імітаційного моделювання можна скорегувати попередньо прийняті рішення щодо вибору потужності обладнання, продуктивності виробництва, роботів-інтенсифікаторів, роботів завантаження-розвантаження, холодильних установок, їх режимів роботи, повітряних конденсаторів, випарників, трубопроводів та апаратури контролю та вимірювання параметрів CO₂.

У розділі компонування апаратної частини під час комплектації обладнанням холодильних машин було приділено окрему увагу розробці методів і алгоритмів керування двигунами технологічного обладнання та конвеєрного холодильного обладнання. Управління асинхронними двигунами технологічного обладнання, давачів, компресорних установок — це цілеспрямована зміна їх механічної потужності, а, отже, продуктивності технологічних апаратів за рахунок зміни електромагнітної енергії в його електричній частині.

Основні задачі проектування програмного забезпечення (ПЗ) АСУТП супермаркету зведені до наступних:

1. Вибір або розробка операційної системи.
2. Вибір мов програмування.
3. Структурування ПЗ у вигляді пакетів підпрограм.
4. Розробка і випуск робочої документації ПЗ.

Операційна системи (ОС) повинна функціонувати в масштабі реального часу (ОСРЧ) та з розділенням часу (ОСЧР). ОСРЧ — це операційна система, яка забезпечує виконання задач в темпі з процесом холодопостачання холодильного обладнання підприємства, вона повинна реагувати на події, які виникають в системі. А ОСЧР повинна оптимально розподіляти ресурси комп'ютера між користувачами і задачами. ОСРЧ і ОСЧР розпізнають по типу оброблення запитів, а саме: ОСРЧ — розпізнають по типу оброблених запитів, тобто ОСРЧ орієнтована на оброблення зовнішніх подій, а ОСЧР — на оброблення дій користувача. ОСРЧ є інструментом щодо створення програмного комплексу задач реального часу, а ОСЧР найчастіше розглядається спеціалістами проектною командою як набір готових до використання додатків.

У системі АСУТП супермаркету з вбудованими РТК проектна команда вирішила використовувати архітектуру ОСРЧ «клієнт-сервер», в якій ядро виконує функції диспетчера повідомлень між клієнтськими користувацькими програмами і серверами — системними сервісами, перевагами яких є підвищена надійність, більш легше налагодження і пошук помилок, проста зміна конфігурації прикладного ПЗ, більш висока стійкість до відмов.

Слід також відзначити, що автоматизована система управління технологічним обладнанням з РТК підприємства-супермаркету повинна задовольняти діючим у нашій країні міжнародним стандартам ISO-9000 та відповідати наступним показникам ефективності, значущості проєкту та повернення інвестицій.

Метою статті є розробка проєкту автоматизованої системи управління холодильним обладнанням супермаркету з вбудованими робототехнічними комплексами для забезпечення населення територій з вираженим техногенним навантаженням високоякісними продуктами харчування в режимі реального часу.

Виклад основного матеріалу. Перейдемо до виконання проєктних рішень щодо методів моніторингу холодильного обладнання супермаркету.

Об'єкт моніторингу представляє собою сукупність N багатоступеневих компресорних холодильних машин (діагностичний вузол), холодоносіїв, каналів холодопостачання, холодильних вітрин та прилавків супермаркету. Типова система моніторингу складається із каналів розповсюдження, системи діагностики, системи датчиків, блоків узгодження, трактів керування, трактів розпізнавання, аналізаторів, блоків формування діагностичних ознак, блоку прийняття рішень, блоків оповіщення, відображення і реєстрації, блоків мережових інтерфейсів (Intranet/Internet), інформаційної бази даних і знань, блока керування і синхронізації.

Додатково пропонуємо в системі моніторингу холодильного обладнання супермаркету (вітрин, прилавків, положення дверей холодильних камер) використати блок прийняття рішень ОПР на основі вхідного масиву діагностичних ознак і експлуатаційних даних. Останні повинні зберігатись в інформаційній системі (базі даних БД та базі знань БЗ), і саме вони будуть визначати технічний стан об'єкту моніторингу та подальші дії системи. Отже, вважаємо за доцільне на кожній острівній ділянці вітрин та прилавків супермаркету впроваджувати сучасні системи моніторингу стану холодильного обладнання.

ОПР супермаркету в процесі контролю параметрів вібрації компресорних установок, їх температури, температури в холодильних камерах і якості продукції та за допомогою АРМ моніторингу працездатності обладнання оптимізуватиме параметри холодопостачання холодильних камер та вітрин і прилавків супермаркету.

Робочі характеристики компресорних установок, параметри їх вібрацій можуть вказати ОПР на ознаки виходу обладнання (системи холодопостачання холодильних вітрин, прилавків, камер, дверей холодильних камер) із ладу. Тому в автоматизованих системах управління технологічними процесами холодильного обладнання супермаркету (АСУТ-ПХОС) необхідно проєктувати системи діагностики холодильного обладнання на базі існуючих інтелектуальних систем, Промислового Інтернету-речей (IIoT) та систем контролю компресорного обладнання супермаркету на базі комп'ютерних систем.

Реалізацію смарт-продукції будемо виконувати за допомогою Інтернет-ресурсів в спеціально спроектованих супермаркетах з РТК холодильного обладнання, інтелектуальними роботами та острівними прилавками.

На рис. 1 презентовано розроблену систему інтелектуалізації процесів холодопостачання в АСУХОС, в якій втілені основні визначені положення алгоритму проєктування подібних систем.

Спочатку розглянемо автоматизацію процесів нечіткого керування острівними прилавками на основі холодильних вітрин. Усі супермаркети нашого регіону користуються холодильними камерами і вітринами-холодильниками, економічна робота яких може бути забезпечена лише за допомогою систем адаптивного нечіткого керування [12].

Розглянемо приклад проєктування подібних систем з використанням нечітких автоматизованих систем управління виробництвом холоду і його холодопостачанням.

У таких системах мікро-ЕОМ є «мозком» кожної холодильної вітрини, в якій розташовані високоточні системи контролю якості продукції.

Мікро-ЕОМ керує:

- регулюванням холодопродуктивності;
- сигналами щодо розморожування;

— негараздами в системі забезпечення холодопостачання.

ПЗ системи дозволяє створити інтерактивний діалог ОПР з ЕОМ. Всю інформацію мікро-ЕОМ одержує через ПЗО та спеціальні ПЛК (плати А, В) за допомогою ІШ від температурних датчиків Д1, Д2, ..., ДN кожної вітрини.

Плата В з ПЛК керує також завданням температури та інформацією про негаразди, які із нею пов'язані. Ці ПЛК керують V — реле розморожування (плата В), які в свою чергу керують групою електромагнітних пристроїв (вимкн/вмк + контактор), які знаходяться в кожній вітрині з метою забезпечення електричного розморожування. Додатковими функціями системи є: регулювання добового теплового режиму за допомогою нічних шторок або заслінок; електричне регулювання за допомогою стрічкових нагрівачів; діагностичні функції, які виконуються за допомогою ПЛК і пульту АРМ; спеціальні види повідомлень про негаразди (засолення водяних трубопроводів і т.п.); електронне узгодження роботи регулюючого вентиля і регулятора швидкості.

Реле РА на платі А сигналізує про негаразди в системі керування процесом заморожування з ПЛК (охоплює 10 видів негараздів на холодильній дільниці), сигналізує також про негаразди у машинній залі за допомогою мікро-ЕОМ та АРМ дисплея диспетчера на АРМ. АРМ диспетчерського пункту забезпечене ПЗ і довідниковою базою та оснащене друкувальними пристроями, що видають інформацію про негаразди в системі холодопостачання вітрин конкретним спеціалістам.

При розпізнаванні негараздів (що можуть бути зафіксовані та оброблені в РЧ) мікро-ЕОМ надсилає АРМ технолога й холодильщика інформацію про обслуговування тієї чи іншої холодильної дільниці супермаркету. Диспетчер-холодильщик може оцінити, виходячи із БД, можливі аварійні ситуації і відпрацювати команди дистанційного керування.

Функції дистанційного керування негараздами та дистанційного консультування підтримуються за допомогою ІШ, яка зв'язує групу плат А з інтерфейсною платою, а негаразди у машинній залі обробляються мікро-ЕОМ, що одержує інформацію з плат А, В. Інтерфейсна плата може бути продубльована в іншому приміщенні супермаркету, вона дозволить зібрати у диспетчера-холодильщика інформацію про температури і негаразди на холодильних дільницях і в машинній залі. До неї можуть бути приєднані друкувальні пристрої і модем.

Події на дільницях холодильних постів (обладнання з позитивною температурою, морозильне обладнання, холодильні камери з позитивними температурами, холодильні камери з температурами близько -20°C), так як і негаразди в машинній залі, передаються на АРМ диспетчера-холодильщика.

Крім цієї мікро-ЕОМ та ОПР диспетчер-холодильщик одержує всі значення параметрів постів «холоду» (температури, ознаки розморожування, перелік негараздів (неполадок), параметри регулювання і т.п.). За необхідності диспетчер-холодильщик може за допомогою ОПЗ впливати на режими роботи холодильного обладнання супермаркету. Конфігурація дистанційного керування в системі СІУ виконана на основі сучасних мікро-ЕОМ, ПЛК і інтерфейсів RS485/RS232 та АРМ диспетчера.

В АСУХОС використано бібліотеку кольорових графічних позначень для кожної холодильної вітрини (групи холодильних вітрин), а мікро-ЕОМ також керує холодопостачанням, водопостачанням та надає на дисплей АРМ диспетчеру-холодильщику в реальному масштабі часу зміни контрольованих параметрів: роботи компресорів $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$; параметри системи електропостачання (СЕ) тощо.

Ситуаційний інтелектуальний центр (СІЦ) супермаркету разом з АСУ, MES- та ERP-системами утворюють адміністративний рівень управління (систему верхнього рівня управління організації).

АРМ топ-менеджерів супермаркету керує бізнес-процесами, контролює в режимі реального часу грошові потоки, виконує оперативне і стратегічне планування, а також одержує інформацію через промисловий Інтернет-речей (ІоТ) та постійно підтримує зв'язок з постачальниками та споживачами продукції.

Висновки. Таким чином, для управління холодильним обладнанням супермаркету запропонована АСУТП з трирівневою структурою керування технологічним процесом.

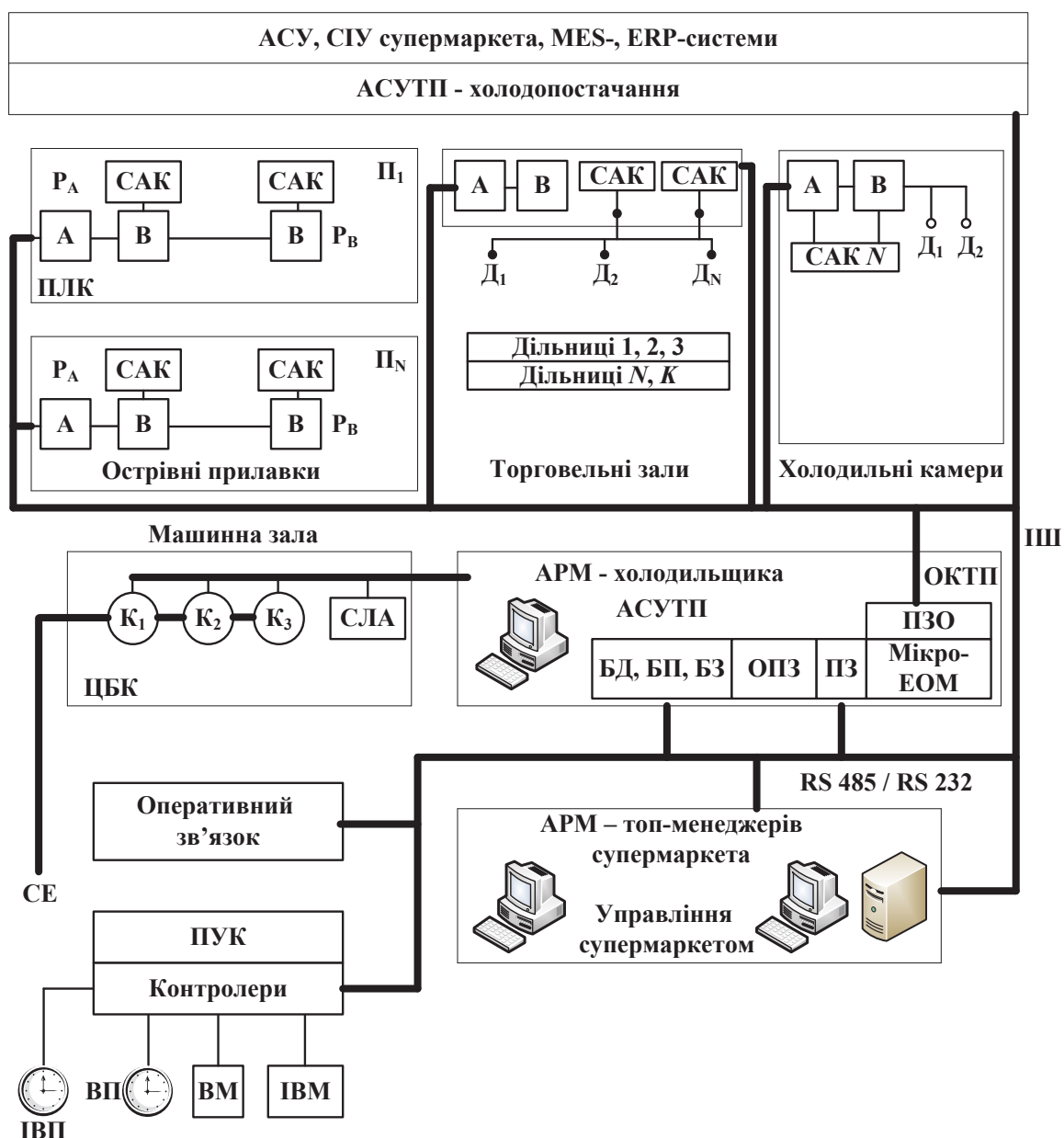


Рисунок 1 — АСУХО супермаркету:

А, В — плати ПЛК; САК — система автоматичного контролю 1, 2, N; ЦБК — центральний блок компресорів $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$; СЛА — система локальної автоматизації з адаптивними нечіткими регуляторами; ПЗО — пристрій зв'язку з об'єктом; СЕ — система електропостачання компресорів $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$; ПУК — пульт керування компресорами $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$; ОКТП — операторське керування технологічним процесом; ВП — вимірювальні прилади; ІВП — інтелектуальні вимірювальні прилади; ВМ — виконавчі механізми; ІВМ — інтелектуальні виконавчі механізми

Синтез даної системи зведено до оцінки роботи:

— верхнього рівня з сучасними інтелектуальними системами, промисловим Інтернет-речей, SCADA ERP-системами з визначенням цілей управління та визначенням змінних, бази даних, бази знань, оцінки інформаційного і програмного забезпечення, методів проектування ситуаційних кімнат;

— середнього операційного рівня MES-систем і проектування робототехнологічних комплексів холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркету та роботи типу TX SCARA, які поповнюють товари на полицях і відстежують їх наявність;

— нижнього рівня керування технологічними процесами з вибором конфігурації регуляторів адаптивних систем та виконавчих механізмів.

До переваг нечітких способів керування, що відносяться до категорії ІСУ холодопостачанням, можна віднести наступні можливості:

— реалізація будь-якого нелінійного алгоритму керування, необхідного для забезпечення процесу;

— наявність неповного, приблизний опису ОК, а для НМ — відсутність опису;

— фазі-логіка не потребує великих обчислювальних потужностей.

Наступні дослідження будуть спрямовані на конкретизацію розробленої концепції, впровадження та перевірку в реальних умовах проекту автоматизованої системи управління технологічними процесами холодильного обладнання супермаркету.

Список літератури

1. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Серебренников В. М. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування : монографія. Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д.О., 2021. 312 с. ISBN 978-617-8045-18-0.
2. Подмазко І. О. Підвищення ефективності роботи холодильного устаткування при термообробці харчових продуктів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.05.14 «Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціонування» / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса : ОНАХТ, 2013. 20 с.
3. Гостев В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления : монографія. Киев : Радиоаматор, 2008. 972 с.
4. Siegwart R., Nourbakhsh I. Introduction to Autonomous Mobile Robots. Cambridge, Massachusetts, London, England : A Bradford Book, The MIT Press, 2004. 322 p.
5. NVIDIA Isaac SDK. Rich Software Platform for AI-based Robot Development. URL: <https://www.nvidia.com/ru-ru/deep-learning-ai/industries/robotics>.
6. Остапенко О. В., Зімін О. В., Подмазко І. О., Хмельнюк М. Г. Шляхи підвищення енергоефективності холодильної установки підприємства харчової промисловості. Холодильна техніка та технологія. 2016. 52 (6). С. 4–10. doi: 10.15673/ret.v52i6.464.
7. Грищенко В. О. Типові технологічні процеси і холодильне обладнання для зберігання рослинної продукції: моделювання, динамічні режими, керування : монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2018. 248 с. ISBN 978-966-929-762-4.
8. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Петрушина Ю. М., Расчихмаров І. В. Удосконалення систем контролю та керування процесом заморожування продукції в холодильних камерах промислових холодильників. Вісник ХНУ. Серія «Технічні науки». 2022. Вип. 1 (305). С. 247–255. doi: 10.31891/2307-5732-2022-305-1-247-255.
9. Fricke, B., Becker, B. Energy Use of Doored and Open Vertical Refrigerated Display Cases. International Refrigeration and Air Conditioning Conference. 2010. Paper 1154. URI: <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1154>
10. Heidinger, G. G., Nascimento, S. M. Gaspar, P. D., Silva, P. D. (2016). Relevant parameters on the energy efficiency of closed refrigerated multideck display cases. URL: https://www.researchgate.net/publication/308794909_Relevant_parameters_on_the_energy_efficiency_of_closed_refrigerated_multideck_display_cases.
11. Демчишин В. Топ-7 енергозберігальних технологій в ретейлі. URL: <https://spar.ua/blogs/top-7-energozberigalnikh-tekhnologiy-v-riteyli>.
12. Хорольський В. П., Омельченко О. В., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Петрушина Ю. М. Холодозабезпечення холодильних камер смарт-промислових холодильників із системами нейро-нечіткого керування процесами заморожування продуктів харчування. Вісник ХНУ. Серія «Технічні науки». 2021. Вип. 6 (303). С. 264–271. doi: 10.31891/2307-5732-2021-303-6-264-271.

References

1. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M., Serebrennikov, V. M. (2021). *Avtomatyzovani systemy keruvannia vyrobnytstvom smart-produktiv kharchuvannia* [Automated control systems for the

production of smart food products], Kryvyi Rih, FOP Cherniavskiy D. O., 312 p. ISBN 978-617-8045-18-0.

2. Podmazko, I. O. (2013). *Pidvyshchennia efektyvnosti roboty kholodylnoho ustatkuvannia pry termoobrobtsi kharchovykh produktiv* [Increase of efficiency of work of refrigeration equipment during heat treatment of food products], Odesa, ONAFT, 20 p.

3. Hostev, V. Y. (2008). *Nechetkye rehuliatory v systemakh avtomatycheskoho upravleniya* [Fuzzy controllers in automatic control systems], Kyev, Radioamator, 972 p.

4. Siegwart, R., Nourbakhsh, I. (2004). Introduction to Autonomous Mobile Robots, Cambridge, Massachusetts, London, England, A Bradford Book, The MIT Press, 322 p. ISBN 0-262-19502-X.

5. NVIDIA Isaac SDK. Rich Software Platform for AI-based Robot Development. URL: <https://www.nvidia.com/ru-ru/deep-learning-ai/industries/robotics>.

6. Ostapenko, O. V., Zimin, O. V., Podmazko, I. O., Khmelniuk, M. G. (2016). *Shliakhy pidvyshchennia enerhoefektyvnosti kholodylnoi ustanovky pidpriemstva kharchovoi promyslovosti* [Power efficiency opportunities for industrial refrigeration system of food processing enterprise], *Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia* [Refrigeration Engineering and Technology], 52(6), pp. 4–10. doi: 10.15673/ret.v52i6.464.

7. Hryshchenko, V. O. (2018). *Typovi tekhnolohichni protsesy i kholodylne obladnannia dlia zberihannia roslynnoi produktsii: modeliuvannia, dynamichni rezhymy, keruvannia* [Typical technological processes and refrigeration equipment for storage of plant products: modeling, dynamic modes, control], Kyiv, Komprynt UBL, 248 p.

8. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M., Petrushyna, Yu. M., Raschekmarov, I. V. (2022). *Udoskonalennia system kontroliu ta keruvannia protsesom zamorozhuvannia produktsii v kholodylnykh kamerakh promyslovykh kholodylnykh* [Improvement of systems for monitoring and controlling the process of freezing products in refrigerating chambers of industrial refrigerators]. *Visnyk KhNU. Seriya «Tekhnichni nauky»* [Bulletin of KhNU. Series «Technical Sciences»], 1(305), pp. 247–255. doi: 10.31891/2307-5732-2022-305-1-247-255.

9. Fricke, B., Becker, B. (2010). Energy Use of Doored and Open Vertical Refrigerated Display Cases. International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 1154. URI: <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1154>.

10. Heidinger, G. G., Nascimento, S. M., Gaspar, P. D., Silva, P. D. (2016). Relevant parameters on the energy efficiency of closed refrigerated multideck display cases. URL: https://www.researchgate.net/publication/308794909_Relevant_parameters_on_the_energy_efficiency_of_closed_refrigerated_multideck_display_cases.

11. Demchyshyn, V. (2021). Top-7 enerhozberihalnykh tekhnolohii v reteili [Top-7 energy-saving technologies in retail]. URL: <https://spar.ua/blogs/top-7-energozberigalnikh-tekhnolohiy-v-riteyli>

12. Khorolskyi, V. P., Omelchenko, O. V., Korenets, Yu. M., Honcharenko, V. A., Petrushyna, Yu. M. (2021). *Kholodozabezpechennia kholodylnykh kamer smart-promyslovykh kholodylnykh iz systemamy neuro-nechitkoho keruvannia protsesamy zamorozhuvannia produktiv kharchuvannia* [Cold safety of refrigerating chambers of smart industrial refrigerators from unexpected neuro-fuzzy curing by the processes of freezing foodstuffs], *Visnyk KhNU. Seriya «Tekhnichni nauky»* [Bulletin of KhNU. Series «Technical Sciences»], 6(303), pp. 264–271. doi: 10.31891/2307-5732-2021-303-6-264-271.

Objective. The aim of the work is to develop a conceptual model of an automated control system for supermarket refrigeration equipment with built-in robotic complexes to provide the population of territories with a pronounced technogenic load with high-quality food products in real time.

Methods. The article uses expert research methods in combination with simulation methods. The theoretical, methodological and practical tasks posed in the article, related to the creation of multi-level complexes for automated control of the processes of cold supply of supermarkets, are solved using a systematic approach, namely the general principles of systems theory, the theory of neural systems, elements of the theory of fuzzy control systems, elements of the theory of artificial intelligence, meth-

odological foundations for the design of automated support and decision-making systems, the main provisions of the theory of automated control systems, including in the field of trade and food supply for the population.

Results. *An automated control system for supermarket refrigeration equipment is proposed with a three-level assessment of its work: the top level with modern intelligent systems, Industrial Internet of Things, SCADA ERP systems with the definition of management goals and the definition of variables, a database, a knowledge base, an assessment of information and software, methods design of situational rooms; the middle operating level of MES systems and the design of robotic complexes for the refrigeration supply of supermarket refrigeration equipment and the operation of the TX SCARA type, which replenish goods on the shelves and track their availability; lower level of process control with the choice of configuration of adaptive systems and mechanisms regulators.*

The advantages of fuzzy control methods related to the category of refrigeration control information systems are determined, which consist in the possibility of implementing any non-linear control algorithm necessary to ensure the process under conditions of at least an approximate or incomplete description of the control object, subject to limited computing power.

Directions for further research aimed at concretizing the developed concept, implementing and testing in real conditions the project of an automated process control system for supermarket refrigeration equipment are identified.

Keywords: *supermarket, refrigeration equipment, automated control system, fuzzy control system, fuzzy logic, robotic complex.*